第 38 卷第 3 期 生 态 学 报 Vol.38,No.3
2018 年 2 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Feb.,2018

DOI: 10.5846/stxb201612192610
项颂,庞燕,窦嘉顺,吕兴菊,薛力强,储昭升.不同时空尺度下土地利用对洱海入湖河流水质的影响.生态学报,2018,38(3):876-885.
Xiang S,Pang Y,Dou J S,Lü X J,Xue L Q,Chu Z S.Impact of land use on the water quality of inflow river to Erhai Lake at different temporal and spatial scales.Acta Ecologica Sinica,2018,38(3):876-885.

不同时空尺度下土地利用对洱海入湖河流水质的影响

项 颂[1],庞 燕[1,*],窦嘉顺[2],吕兴菊[2],薛力强[1],储昭升[1]

1 中国环境科学研究院湖泊生态环境创新基地,北京 100012
2 大理洱海湖泊研究中心, 大理 671000

摘要:土地利用与入湖河流水质的关系存在时空差异。以洱海西部入湖河流及其小流域为研究对象,综合空间分析和数理统计手段,探讨两者随空间尺度和时间变化的关系,结果表明:选取的小流域、河岸带 30m 缓冲区、河岸带 60m 缓冲区和河岸带 90m 缓冲区 4 种尺度下,对入湖河流水质影响显著的土地利用类型为建设用地和植被(包括林地和牧草地),影响最大的空间尺度为小流域尺度,河岸带 30m 缓冲区次之;小流域尺度下,建设用地面积百分比与入湖河流 COD 和 TP 浓度呈正相关,植被面积百分比与 NH_4^+-N 浓度呈负相关,响应土地利用的主要水质指标为 TN 和 TP,回归调整系数分别为 0.624 和 0.579;季节性关联分析表明建设用地与 COD、NH_4^+-N、TP 的回归关系在雨季强于旱季,植被与 COD、TP 的回归关系在雨季强于旱季,雨季建设用地和植被面积变化引起 COD 浓度变化更快。在流域管理中,针对植被覆盖率低、建设用地占比高的白鹤溪和中和溪应重点加强雨季土地利用管控,增加植被覆盖率,合理开发建设用地。

关键词:时空尺度;土地利用;入湖河流;冗余分析

Impact of land use on the water quality of inflow river to Erhai Lake at different temporal and spatial scales

XIANG Song[1],PANG Yan[1,*],DOU Jiashun[2],LÜ Xingju[2],XUE Liqiang[1],CHU Zhaosheng[1]

1 *Research Center of Lake Eco-Environments,Chinese Research Academy of Environmental Sciences,Beijing* 100012, *China*
2 *Research Center of Lake Erhai,Dali* 671000,*China*

Abstract: Relationships between land use and water quality of rivers flowing into lake vary spatially and temporally. These variations were analyzied using spatial analysis and mathematical statistical methods for the inflow rivers and their subcatchments on the western side of the Lake Erhai basin. The results indicated that the land use types influencing river water quality significantly were construction and vegetation land at four spatial scales (subcatchment, and 30m, 60m, and 90m riparian buffer zones). Vegetable land included forest, grassland and shrub land.The greatest impact occurred at the subcatchment scale, followed by the 30m riparian buffer zone. At the subcatchment scale, the amount of construction land was positively correlated with COD and TP concentrations of the inflow rivers. The amount of vegetation land was negatively correlated with NH_4^+-N concentration, and the main water quality indexes corresponding to land use were TN and TP, with 0.624 and 0.579 adjusted regression coefficients, respectively. Seasonal correlation analysis suggested that the regression relationships between construction land and COD, NH_4^+-N, and TP concentrations during the wet season were stronger than those in the dry season, and the regression relationships between vegetation land and COD and TP concentrations were also stronger during the wet season than those in the dry season. COD concentration change caused by variation in construction land and vegetation land variation occurred more rapidly during the wet season than those in the dry season. During river

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07105-002)

收稿日期:2016-12-19; **网络出版日期**:2017-10-18

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: 190068749@qq.com

basin management, particular attention should be paid to land use control during the wet season for the Baihe and Zhonghe Rivers, whose watersheds have a lower proportion of vegetation land and a higher proportion of construction land. Vegetation coverage should be increased, whereas the effects of land development should be studied adequately before implementation.

Key Words: temporal and spatial scales; land use; inflow river; redundanc analysis

人类的不合理活动导致土地利用发生改变,土地利用的改变又反过来影响着人类生活的诸多领域,而土地利用变化对地表水环境的影响是业界关注的重点之一[1-4]。入湖河流既是外源汇入湖泊的重要通道,也是湖泊水资源的重要补给源,其水质水量变化直接影响湖泊水环境质量[5-6]。因此,进行土地利用与入湖河流关系研究对流域水环境保护及土地开发利用意义重大。

土地利用作为人类活动的产物,通过改变流域的水文循环、水土流失、养分迁移转化等生态过程,进而对河流生态环境产生影响[7]。入湖河流作为生态景观的重要组分,其与土地利用的关系受空间尺度和时间变化影响[8-9]。针对两者关系的时空差异性研究目前已开展了很多,例如 Sliva 和 Williams[10] 开展了全流域和 100m 缓冲区尺度下加拿大 Ontario 省南部 3 个流域水质与土地利用关系的对比研究,Tudesque 等[11] 对 5 种不同空间尺度下法国 Adour-Garonne 流域土地利用和水质、藻类的关系进行了研究,Ding 等[12] 开展了东江流域多空间尺度下土地利用格局与水质的关系研究,他们的研究均表明相对于河岸缓冲带尺度,土地利用类型对水质的影响在流域尺度更显著;而 Shen、Zhou 等[13-14] 的研究则得出相反结论,Shen 等在北运河流域开展全流域尺度和 5 种缓冲区尺度下土地利用与水质关系的研究,结果表明较全流域尺度,100m 缓冲区尺度下土地利用格局对河流水质的影响更显著,Zhou 等对 1990—2006 年东江流域土地利用与水质的关系进行研究,选取全流域、子流域、缓冲区 3 种尺度开展两者关系的对比研究,结果表明多数水质指标在 3 种空间尺度下均受土地利用格局的影响,其中子流域尺度下两者关系较全流域、缓冲区尺度强;此外 Yu、Álvarez-Cabria、Prathumratana 等[15-17] 对两者关系受季节性如降雨、气候等因素影响而产生的变化也进行了研究,研究表明土地利用对河流水质的影响与季节性变化关系密切,不同季节下降雨量、温度和农业活动的差异对两者关系影响较大。研究手段包括传统分析方法如相关性分析[18-19]、多元回归分析[14,20],以及近年发展起来的地理信息技术[21] 及模型[22-23]。虽然目前涉及这方面的研究较多且已走向深入,但受各流域自身特性、人类干扰强度和数据精度的影响,土地利用与水质关系的研究在某些方面仍未有新突破,如土地利用与水质关系的最适或最强空间尺度问题一直未形成统一定论[10,12-13,24]。

洱海作为云南省第二大高原淡水湖泊,是大理州乃至云南省社会经济可持续发展的基础,但随流域社会经济发展和区域人口增加,流域土地开发利用加剧,洱海水质日益下降。洱海西区作为洱海入湖河流的核心区,为洱海提供重要清洁水源,提高洱海水质,但由于西区地理环境优越、水资源丰富,成为流域人类活动的中心区域,区内高密度的人类活动和高强度的土地开发问题十分突出,以非点源污染为主的环境污染问题日趋加重,影响入湖河流水质,威胁洱海水环境,因此如何平衡土地开发与水环境保护是该区目前正面临的重要难题,也是改善区域河流水质,保障清水入洱海,促进流域经济发展的关键问题。该文在此背景下,结合前期的研究[25-26],基于研究区土地利用特征,采用数理统计和空间分析方法,开展入湖河流水质随土地利用空间尺度及季节性效应的变化研究,以期为当地水环境保护和土地开发利用提供一定参考。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于云南省大理白族自治州大理市洱海流域西部,99°58′—100°14′E、25°35′—25°56′N 之间(图 1)。区域面积 336.9km^2,占洱海流域面积的 13.1%;气候特征为典型的低纬亚热带高原季风气候,多年年均温度为 15.1℃;干湿季分明,5—10 月为雨季,11 月—次年 4 月为旱季,多年年均降雨量为 1048mm,雨季降水量占全年降水量的 88.7%,年内降水高峰月出现在 7—8 月。

研究区水系发达,水资源丰富,18 条垂直于洱海的山溪型河流构成"苍山十八溪"水系,是洱海清水补给的重要水源地,年平均地表径流量 2.339 亿 m^3,占洱海水资源量的 24.7%。苍山十八溪发源于苍山,流经人类活动密集的大理坝子,灌溉坝区万顷良田,提供大理市居民生活饮用水,最终进入洱海,为洱海提供清水补给。作为洱海的主要水源和核心的入湖河道,苍山十八溪水质水量变化直接影响洱海水环境质量[27]。因阳南溪、葶溟溪、双鸳溪、霞移溪 4 条河流一年中多数时间处于断流状态,该次研究不包括这 4 条河流。

1.2 数据来源

水质数据为 2014 年 1 月至 2015 年 12 月两年的数据,来自大理州环境监测站和洱海湖泊研究中心,水质监测频次为每月 1 次,监测点位于各个小流域的入湖口,采样和分析方法参照国家标准[28],选取 COD、NH_4^+-N、TN、TP4 个代表性水质指标。

遥感影像数据为 2012 年资源一号 02c 卫星拍摄的 2.36m 高精度卫片,受区域人类活动及经济社会发展等因素的影响,经调研发现土地利用变化相对缓慢,该文选取的 2012 年遥感影像数据基本能反映 2012 年前后一段时间的土地利用结构特征。DEM 为中国科学院计算机网络信息中心 ASTER GDEM 30m 分辨率高程数据。

1.3 分析方法

1.3.1 空间分析

基于遥感影像,参照最新土地分类标准土地利用现状分类[29],采用非监督分类法进行土地利用分类,并以洱海流域第二次全国土地调查结果为参考修正,分为建设用地、农业用地、植被、水体、其他用地 5 类(图 2)。其中植被包括林地和牧草地,虽然林地和牧草地对水质的净化作用不同,但鉴于研究区牧草地面积极小,林地面积大,将两者归为一类;其他用地包括特殊用地、自然保留地和风景名胜设施用地。

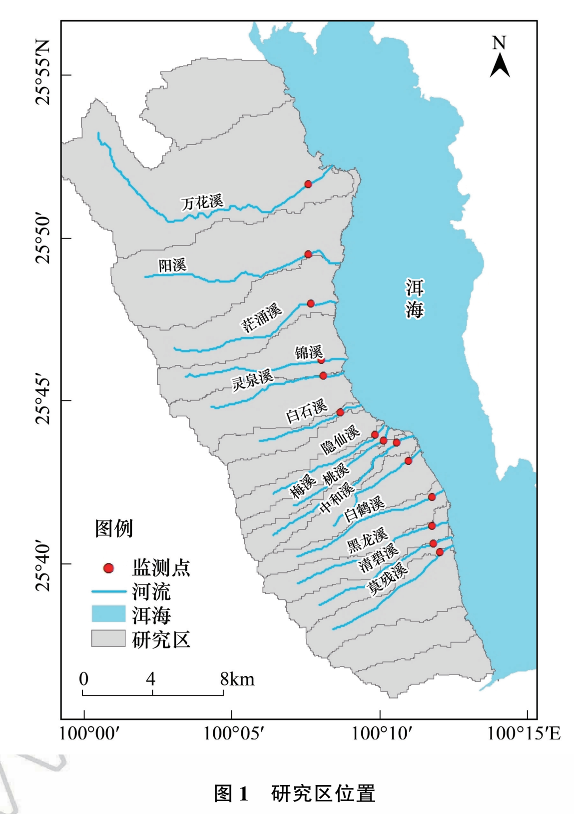


图 1 研究区位置

Fig.1 Location of study area

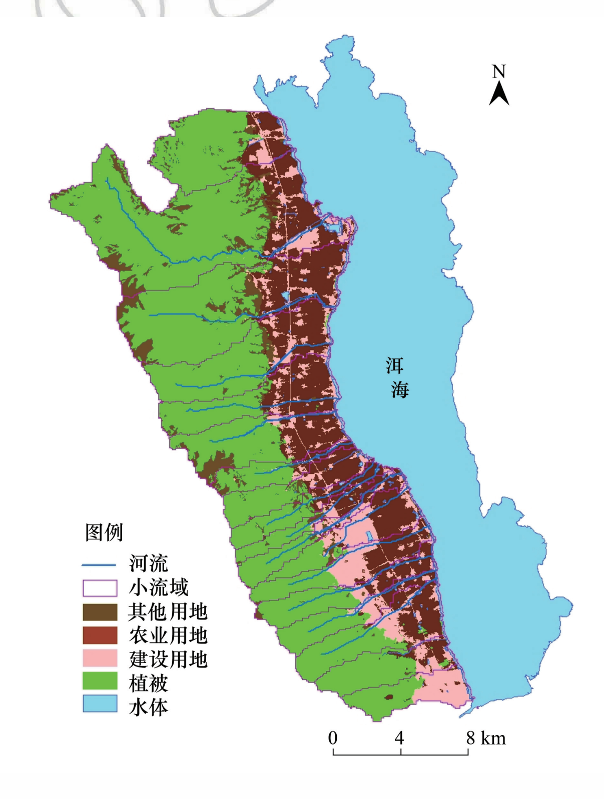


图 2 研究区土地利用空间分布

Fig.2 The spatial distribution of land use in study area

在 Arcgis 10.1(ESRI)平台上,基于流域 DEM 利用水文分析工具划分小流域,提取河网,并在此基础上划分河岸带。目前河岸带划分类型主要有矩形和圆形两种,对于河流的研究多以矩形为主[30];研究区河流为山溪型河流,流域较窄小,结合区域土地利用空间分布特征,采用缓冲区法沿河流分别向两岸划分 30、60、90m

等 3 种宽度的矩形河岸带缓冲区。

1.3.2　统计分析

基于 SPSS 19 软件进行河流水质特征分析。分析之前采用 SPSS 19 进行数据异常值剔除和筛选,并进行数据正态性检验,发现所有数据的双尾渐进概率 P 值均大于给定的显著性水平 0.05,数据服从正态分布。在此基础上采用描述性统计分析方法对 14 条入湖河流水质数据进行统计分析,确定水质变化特征。

在 Canoco 4.5 软件平台上进行土地利用和入湖河流水质的相关性分析。采用趋势对应分析(DCA)确定排序模型,发现排序轴最大梯度值小于 3,则选用常用的线性排序模型冗余分析(RDA)进行两者相关性研究[10,13]。

基于 SPSS 19 软件,在 0.05 的显著性水平下,采用逐步多元回归分析方法建立入湖河流水质对土地利用的响应关系,回归的进入概率和删除概率分别为 0.05 和 0.1[31]。

2　结果与分析

2.1　研究区入湖河流水质与土地利用特征

在 0.05 的显著性水平下,采用描述性统计进行 14 条入湖河流水质的变化特征分析(表 1),经数据异常值剔除和筛选后,结果显示:COD 浓度为 0.20—57mg/L,NH_4^+-N 浓度为 0.01—11.79mg/L,TN 浓度为 0.01—18.99 mg/L,TP 浓度为 0.01—3.34mg/L。

表 1　入湖河流水质数据的描述性统计

Table 1　Descriptive statistics of inflow river water quality

水质指标 Water quality indexes	样本数/个 Sample size	最小值/(mg/L) Minimum values	最大值/(mg/L) Maximum values	平均值/(mg/L) Average values	标准差/(mg/L) Standard deviations
COD	305	0.20	57.00	12.66	9.93
NH_4^+-N	301	0.01	11.79	0.52	1.14
TN	305	0.01	18.99	2.60	2.81
TP	299	0.01	3.34	0.22	0.32

COD:化学需氧量,Chemical Oxygen Demand;NH_4^+-N:氨氮,Ammonia Nitrogen;TN:总氮,Total Nitrogen;TP:总磷,Total Phosphorus

结合 GIS 工具,对不同空间尺度下 14 条入湖河流所在小流域土地利用特征进行空间统计分析(图 3),结果显示:研究区土地利用类型以植被、农业用地和建设用地为主,小流域尺度下植被为优势地类,河岸带尺度下植被和农业用地占比最高,建设用地次之。14 个小流域各类土地利用面积占比在不同空间尺度下存在差异,就其平均值而言,植被:小流域>河岸带 90m 缓冲区>河岸带 60m 缓冲区>河岸带 30m 缓冲区,河岸带缓冲区尺度下差异不大,整体而言植被面积占比在河岸带缓冲区尺度小于小流域尺度;建设用地和农业用地:河岸带 60m 缓冲区 >河岸带 30m 和 90m 缓冲区>小流域,两种地类面积占比均在河岸带缓冲区尺度大于流域尺度;水体:随河岸带缓冲区尺度增大其面积占比减小,整体而言水体面积占比在河岸带缓冲区尺度大于小流域尺度;其他用地:河岸带 90m 缓冲区>河岸带 30m 缓冲区>河岸带 60m 缓冲区 >小流域,整体而言其他用地面积占比在河岸带缓冲区尺度大于流域尺度。

2.2　土地利用与入湖河流水质的关系

通过冗余分析进行不同空间尺度下土地利用面积百分比与入湖河流水质的关系研究,检验不同空间尺度下土地利用对于水质变异程度的解释能力,从而筛选对水质影响最大的空间尺度(图 4 和表 2)。结果显示:土地利用类型面积百分比对河流水质影响程度的空间尺度排序为小流域>河岸带 30m 缓冲区>河岸带 60m 缓冲区>河岸带 90m 缓冲区,小流域尺度下土地利用面积百分比对河流水质总解释率为 66%,是对河流水质影响最大的空间尺度;所选取的 3 种河岸带缓冲区尺度下,河岸带 30m 缓冲区尺度下土地利用面积百分比对河流水质影响最显著,解释率为 47.4%。

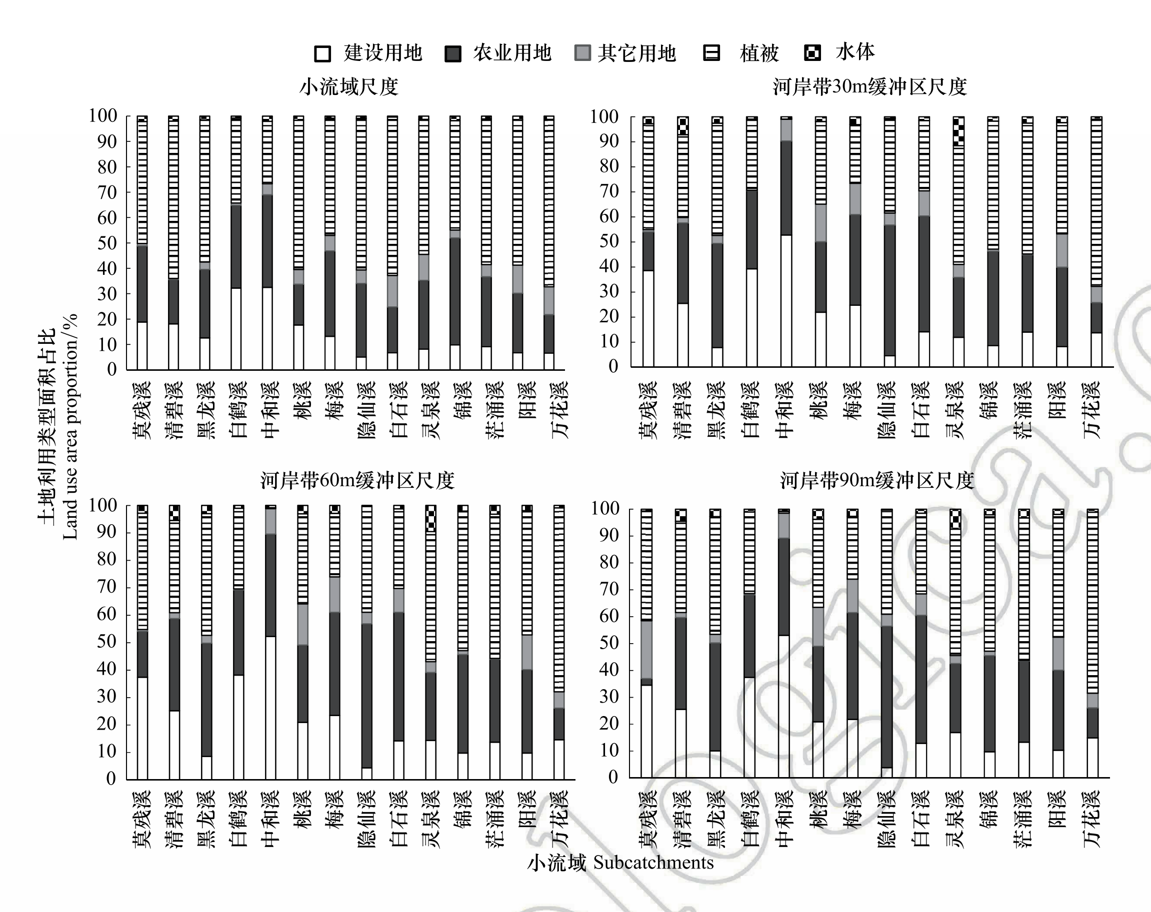


图 3 不同空间尺度下土地利用面积比例

Fig.3 Land use area proportion under multiple scales

表 2 冗余分析各排序轴方差解释率

Table 2 Total variance explained by the ordination axis

空间尺度 Spatial scales	参数 Parameters	第一轴 Axis 1	第二轴 Axis 2	第三轴 Axis 3	第四轴 Axis 4	总解释率/% Total explained variance
小流域 Subcatchment	特征值	0.505	0.136	0.019	0	66.00
	土地利用和入湖河流水质相关性的累积百分率/%	76.50	97.10	100	100	
河岸带 30m 缓冲区 30m riparian buffer zone	特征值	0.392	0.072	0.009	0	47.40
	土地利用和入湖河流水质相关性的累积百分率/%	82.80	98.10	99.90	100	
河岸带 60m 缓冲区 60m riparian buffer zone	特征值	0.385	0.073	0.012	0	46.90
	土地利用和入湖河流水质相关性的累积百分率/%	82	97.50	99.90	100	
河岸带 90m 缓冲区 90m riparian buffer zone	特征值	0.38	0.053	0.003	0.001	43.70
	土地利用和入湖河流水质相关性的累积百分率/%	86.90	99.00	99.70	100.00	

各种土地利用类型在不同空间尺度下对河流水质的解释率如图 5 所示,结果显示:选取的小流域、河岸带 30m 缓冲区、河岸带 60m 缓冲区、河岸带 90m 缓冲区 4 种空间尺度下,整体而言对河流水质解释率最高的地类为建设用地和植被,偏蒙特卡罗置换检验的 P 均小于 0.05,为显著影响地类;但小流域尺度下,除建设用地($P=40.7\%$)和植被($P=24.8\%$)对河流水质的解释率较高,其他用地类型对河流水质也有一定程度的影响。

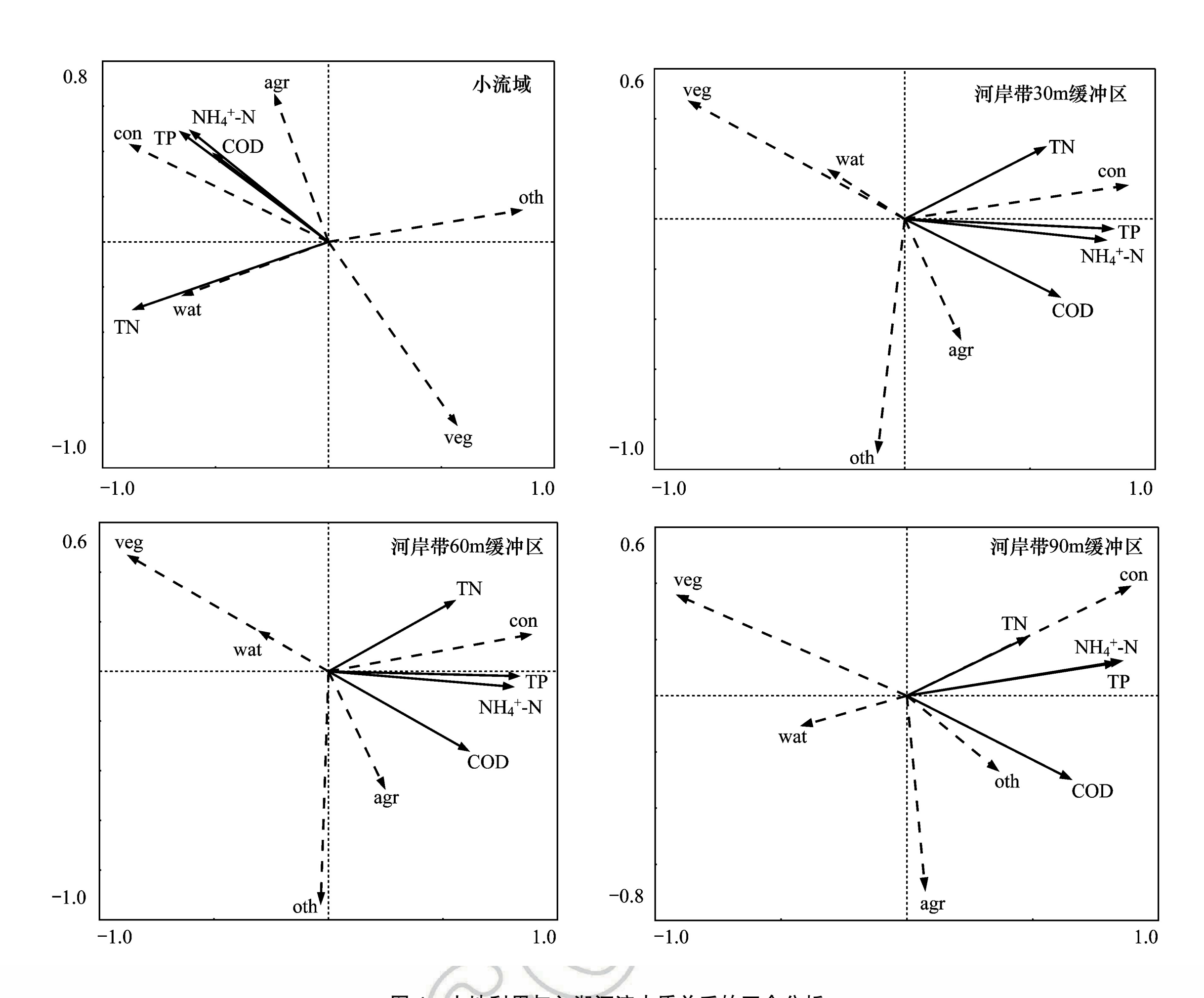


图 4　土地利用与入湖河流水质关系的冗余分析

Fig.4　Redundancy analysis between land use and inflow river water quality

con:建设用地,construction land;agr:农业用地,agricultural land;veg:植被,vegetation land;wat:水体,water;oth:其他用地,other land;COD:化学需氧量,Chemical Oxygen Demand;NH_4^+-N:氨氮,Ammonia Nitrogen;TN:总氮,Total Nitrogen;TP:总磷,Total Phosphorus

2.3　入湖河流水质对土地利用的响应关系

在上述最佳空间尺度确定的基础上,采用逐步多元回归建立入湖河流水质对土地利用的响应方程,量化小流域尺度下各土地利用类型对水质的影响程度(表 3)。结果表明:多元逐步回归分析的结果与冗余分析基本一致,小流域尺度下建设用地和植被作为影响河流水质的主要地类,出现在多数指标的回归方程中,建设用地面积百分比与 COD 和 TP 呈正相关,植被面积百分比与 NH_4^+-N 呈负相关;农业用地和其他用地的面积百分比与 TN 呈负相关,其中冗余分析中农业用地不是显著影响因子,而回归方程中却是影响 TN 浓度的主要因子之一;回归拟合调整系数 R^2 表明对土地利用响应较强的水质指标为 TN(调整 R^2 = 0.624)和 TP(调整 R^2 = 0.579)。

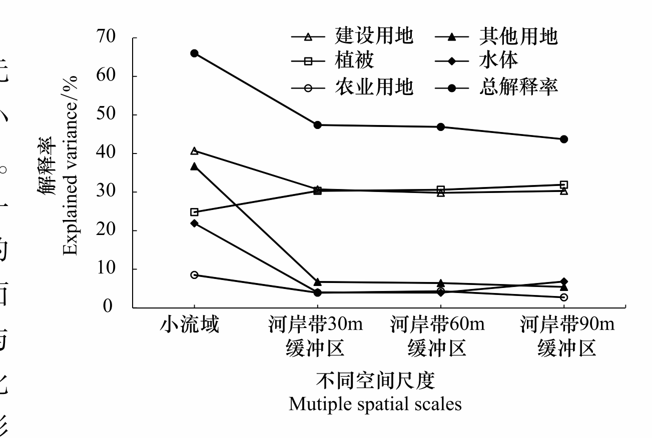


图 5　不同空间尺度下各土地利用类型解释率

Fig.5　Explained ratio of different land use under multiple scales

表 3 入湖河流水质对土地利用类型的响应关系

Table 3 Response of inflow river water quality to land use

水质指标 Water quality indexes	回归方程 Regression equations	R^2	调整 R^2 Adjusted R^2	Sig.
COD	COD=6.596+40.6con	0.42	0.371	0.012
NH_4^+-N	NH_4^+-N=2.415−3.708veg	0.535	0.496	0.003
TN	TN=7.913−45.038oth−10.79agr	0.682	0.624	0.002
TP	TP=−0.045+1.821con	0.612	0.579	0.001

con:建设用地,construction land;veg:植被,vegetation land;oth:其他用地,other land;agr:农业用地,agricultural land;COD:化学需氧量,Chemical Oxygen Demand;NH_4^+-N:氨氮,Ammonia Nitrogen;TN:总氮,Total Nitrogen;TP:总磷,Total Phosphorus

2.4 土地利用与入湖河流水质的季节性关联

土地利用与入湖河流水质的关系受降雨径流影响作用较大,结合研究区降雨特征,将 14 个小流域的河流水质按雨季(5—10)、旱季(11 月—次年 4 月)进行季节分类,并分别对各水文季节的水质指标取平均值,分析主要影响地类建设用地和植被与 14 组入湖河流水质的季节性关联(图 6 和图 7)。结果显示:土地利用与入湖河流水质关系的存在一定季节性差异,整体上两种地类与水质指标的回归系数 R^2 雨季高于旱季,其中建设用地面积百分比与 COD、NH_4^+-N、TP 的回归系数 R^2 雨季高于旱季,植被面积百分比与 COD、TP 的回归系数 R^2 雨季高于旱季,且雨季建设用地面积百分比与 COD、NH_4^+-N、TP 的回归系数 R^2 均高于 0.5;回归方程斜率表明建设用地面积百分比与河流水质指标呈正相关,植被面积百分比与河流水质指标呈负相关,且雨季 COD 浓度随建设用地和植被面积变化更快,这与 2.3 中回归模型结果一致。

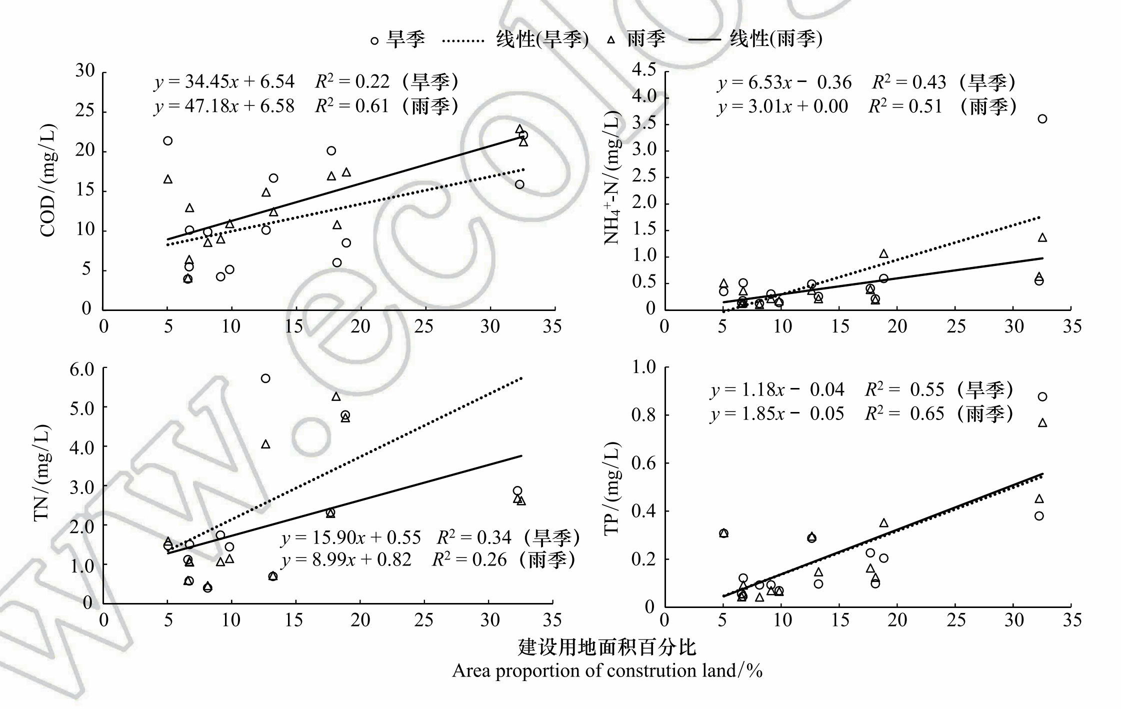


图 6 建设用地与水质的季节性关联分析

Fig.6 Linear regression between percentage of construction land area and water quality under different seasons

3 讨论

3.1 土地利用与入湖河流水质关系的尺度效应

土地利用与入湖河流水质存在尺度效应已成定论,但关于两者关系的最佳空间尺度并未形成统一结论[12,21,24]。该文采用冗余分析进行土地利用与河流水质的空间效应研究,发现两者的关系随空间尺度变化

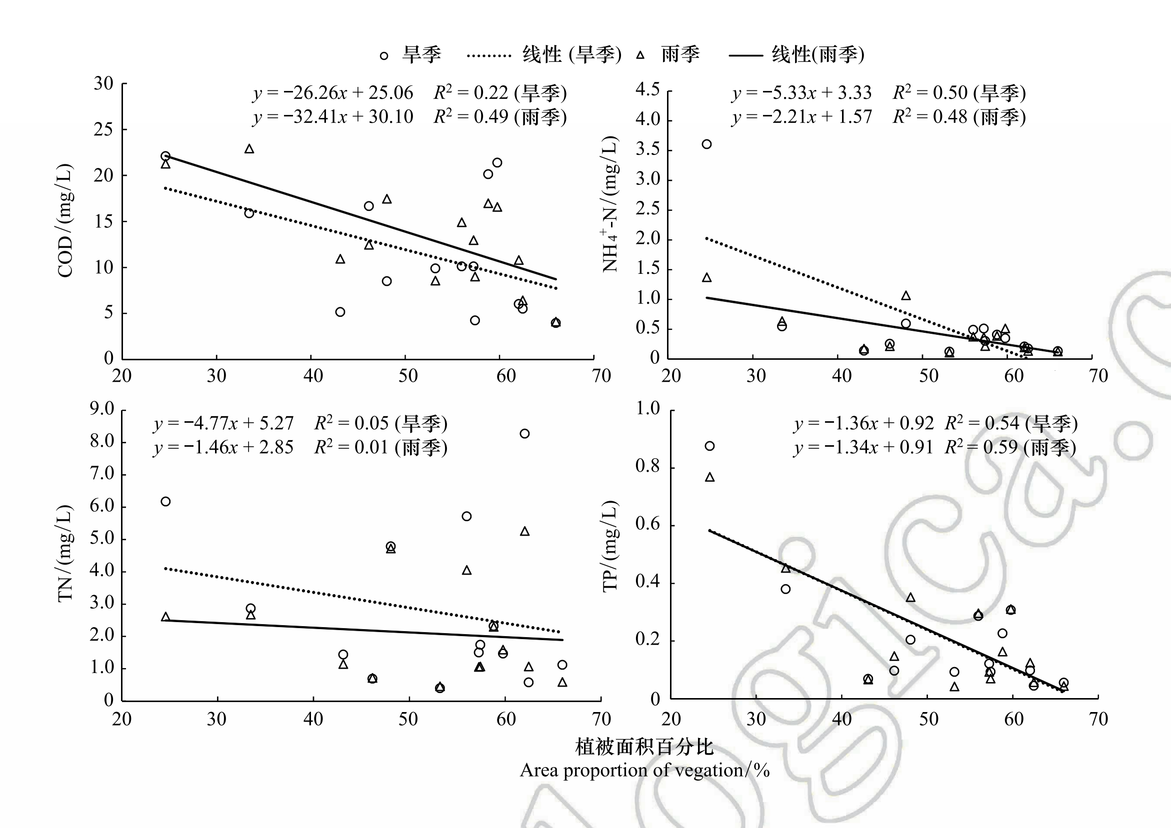


图 7　植被与水质的季节性关联分析

Fig.7　Linear regression between percentage of vegetation land use area and water quality under different seasons

不同,小流域尺度下土地利用对水质的解释率最高(达 66%),是对入湖河流水质影响最强的空间尺度[10-12,14],而 Shen、Zhou 等[13-14]的研究则发现相对于全流域尺度,河岸带尤其是 100m 宽度的河岸带尺度下土地利用与入湖河流水质的关系更显著。该文出现与此不同的研究结论是基于研究区自身的土地利用特征,研究区小流域尺度下土地利用优势地类为植被,面积占比超过 50%,远高于其他地类,优势地类突出且单一,其与水质的显著关系使得总解释率较高;而河岸带尺度下,植被、农业用地和建设用地共同构成优势地类,优势地类组分复杂且各地类对水质的影响效果各异,因此叠加作用下其对水质的解释率较小流域尺度低[11,15,22]。类似的结论出现在 Sliva、Tudesque、Ding 等[10-12]的研究中,他们也发现土地利用与入湖河流水质的最佳影响尺度为流域尺度。

该次研究中小流域尺度之所以对河流水质影响最大,与其高植被覆盖率密切相关;河岸带是阻隔污染物迁移入河的最后屏障,同样对保护河流水质意义重大[19,32]。目前洱海流域西部部分山溪河流受人类活动影响,生态功能出现退化或逐渐丧失,因此除保证小流域整体植被覆盖率不降低外,有必要提高河岸带周边的植被覆盖率、理性约束人类活动。

3.2　入湖河流水质对土地利用的响应关系

针对土地利用与入湖河流水质关系的定量化研究目前已有许多,研究手段多样[2,4,7]。该文基于数理统计分析方法建立入湖河流水质对小流域尺度下土地利用的响应方程,发现建设用地面积百分比与 COD 和 TP 呈正相关,植被面积百分比与 NH_4^+-N 呈负相关,这与 Ding、Shen、Li 等[12-13,19]的结论类似,是由于有机物和磷流失量与径流量及径流中的两者含量密切相关,建设用地作为人类活动密集区,其面积扩张会增加不透水面面积和地表径流产流量,引起污染物聚集性排放,导致径流冲刷作用下有机物和磷的流失量增加,而植被作为污染物的汇,其面积比例与径流中氨氮含量的线性关系及截留作用已在许多研究中得到证实[7,33]。农业用地面积百分比与 TN 呈负相关[10,22-23],这一方面与研究区农业耕作方式、农药化肥施用量以及与受纳水体的距离、地形等有关,研究区污染源结构中农田种植污染偏低、种植模式以取水灌溉为主,且农田主要分布在坡度

较缓的坝区,河流经苍山发源后流经坝区农田,最后进入洱海,平缓坡度的坝区农田对入湖河流 TN 有着一定的截蓄滞留作用[25-26];此外与 TN 自身特征及其迁移转化规律等有关,TN 是各种形态无机和有机氮的总量,坡度缓的坝区农田中存在着大量微生物,有利于不同形态氮之间硝化、反硝化等复杂反应的进行[33-34]。研究区白鹤溪和中和溪建设用地面积在流域的占比最高均超过 32%,植被面积占比最低均小于 35%,其土地利用特征对入湖河流水质影响大,建议作为重点管控区域,优先采取治理措施。

3.3 土地利用与入湖河流水质关系的季节效应

土地利用与入湖河流水质的关系是非点源研究的重要内容之一,与降雨径流密切相关[7,15-16]。已有的关于两者关系的季节性效应研究结论各异,如孙芹芹等[35]对九龙江流域城镇建设用地与河流水质关系的季节性关联研究发现,随城镇建设用地面积增加,河流水质在丰水期和枯水期恶化均较快;Li 等[19]对汉江流域土地利用驱动下水质的变化规律研究发现,丰水期土地利用与入湖河流水质关系在缓冲区尺度下较全流域尺度弱,枯水期则相反;Pratt 和 Chang[9]的研究发现河流水质雨季与城镇用地关系显著,旱季与高程、地形等表征地理特征的因子关系强。而该次数据量有限,研究发现土地利用与入湖河流水质关系的存在一定季节性差异,其中雨季建设用地和植被与水质的回归关系较旱季更强,这主要是由于土地利用通过改变地表水文循环、污染迁移转化途径进而影响入湖河流水质,雨季其对水质的作用机理受径流冲刷影响更大,更多污染物能被雨季地表径流冲刷进入河流[7,19],因此在土地利用管控时尤其应限制雨季建设用地面积扩张,同时保障植被覆盖率。此外为更好的揭示土地利用与入湖河流水质关系的季节效应,后续研究中应尽可能获取更多的数据用于此部分内容的深入研究。

4 结论

1)选取的小流域、河岸带 30m 缓冲区、河岸带 60m 缓冲区、河岸带 90m 缓冲区 4 种空间尺度下对河流水质影响最主要的地类为建设用地和植被,最强空间尺度为小流域尺度,河岸带 30m 缓冲区次之。最强空间尺度下土地利用对水质的解释率最高为 66%,建设用地和植被对水质的解释率分别为 40.7%和 24.8%。

2)小流域尺度下建设用地面积百分比与入湖河流 COD 和 TP 浓度呈正相关,植被面积百分比与 NH_4^+-N 浓度呈负相关。对土地利用响应最强的水质指标为 TN 和 TP,回归调整系数分别为 0.624 和 0.579。

3)建设用地面积百分比与 COD、NH_4^+-N、TP 的回归关系在雨季强于旱季。植被面积百分比与 COD、TP 的回归关系雨季强于旱季,雨季建设用地和植被面积变化引起 COD 浓度变化更快。

参考文献(References):

[1] Meneses B M, Reis R, Vale M J, Saraiva R. Land use and land cover changes in Zêzere watershed (Portugal)—Water quality implications. Science of the Total Environment, 2015, 527-528: 439-447.

[2] Giri S, Qiu Z Y. Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. Journal of Environmental Management, 2016, 173: 41-48.

[3] Sajikumar N, Remya R S. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. Journal of Environmental Management, 2015, 161: 460-468.

[4] Zhou P, Huang J L, Pontius R G Jr, Hong H S. New insight into the correlations between land use and water quality in a coastal watershed of China: does point source pollution weaken it? Science of the Total Environment, 2016, 543: 591-600.

[5] Zhang S H, Li Y Q, Zhang T X, Peng Y. An integrated environmental decision support system for water pollution control based on TMDL-A case study in the Beiyun River watershed. Journal of Environmental Management, 2015, 156: 31-40.

[6] Dong C Y, Zhang W G, Ma H L, Feng H, Lu H H, Dong Y, Yu L Z. A magnetic record of heavy metal pollution in the Yangtze River subaqueous delta. Science of the Total Environment, 2014, 476-477: 368-377.

[7] Putro B, Kjeldsen T R, Hutchins M G, Miller J. An empirical investigation of climate and land-use effects on water quantity and quality in two urbanising catchments in the southern United Kingdom. Science of the Total Environment, 2016, 548-549: 164-172.

[8] Yu S Y, Xu Z X, Wu W, Zuo D P. Effect of land use types on stream water quality under seasonal variation and topographic characteristics in the Wei River basin, China. Ecological Indicators, 2016, 60: 202-212.

[9] Pratt B, Chang H. Effects of land cover, topography, and built structure on seasonal water quality at multiple spatial scales. Journal of Hazardous Materials, 2012, 209-210: 48-58.

[10] Sliva L, Williams D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality. Water Research, 2001, 35(14): 3462-3472.

[11] Tudesque L, Tisseuil C, Lek S. Scale-dependent effects of land cover on water physico-chemistry and diatom-based metrics in a major river system, the Adour-Garonne basin (South Western France). Science of the Total Environment, 2014, 466-467: 47-55.

[12] Ding J, Jiang Y, Liu Q, Hou Z J, Liao J Y, Fu L, Peng Q Z. Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: A multi-scale analysis. Science of the Total Environment, 2016, 551-552: 205-216.

[13] Shen Z Y, Hou X S, Li W, Anni G, Chen L, Gong Y W. Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: A case study in a typical urbanised watershed in China. Ecological Indicators, 2015, 48: 417-427.

[14] Zhou T, Wu J G, Peng S L. Assessing the effects of landscape pattern on river water quality at multiple scales: A case study of the Dongjiang River watershed, China. Ecological Indicators, 2012, 23: 166-175.

[15] Yu X B, Hawley-Howard J, Pitt A L, Wang J J, Baldwin R F, Chow A T. Water quality of small seasonal wetlands in the Piedmont ecoregion, South Carolina, USA: Effects of land use and hydrological connectivity. Water Research, 2015, 73: 98-108.

[16] Álvarez-Cabria M, Barquín J, Peñas F J. Modelling the spatial and seasonal variability of water quality for entire river networks: Relationships with natural and anthropogenic factors. Science of the Total Environment, 2016, 545-546: 152-162.

[17] Prathumratana L, Sthiannopkao S, Kim K W. The relationship of climatic and hydrological parameters to surface water quality in the lower Mekong River. Environment International, 2008, 34(6): 860-866.

[18] Tran C P, Bode R W, Smith A J, Kleppel G S. Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA). Ecological Indicators, 2010, 10(3): 727-733.

[19] Li S Y, Gu S, Tan X, Zhang Q F. Water quality in the upper Han River basin, China: The impacts of land use/land cover in riparian buffer zone. Journal of Hazardous Materials, 2009, 165(1/3): 317-324.

[20] Seeboonruang U. A statistical assessment of the impact of land uses on surface water quality indexes. Journal of Environmental Management, 2012, 101: 134-142.

[21] Smart R P, Soulsby C, Cresser M S, Wade A J, Townend J, Billett M F, Langan S. Riparian zone influence on stream water chemistry at different spatial scales: a GIS-based modelling approach, an example for the Dee, NE Scotland. Science of the Total Environment, 2001, 280(1/3): 173-193.

[22] Chang H. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea. Water Research, 2008, 42(13): 3285-3304.

[23] Tu J, Xia Z G. Examining spatially varying relationships between land use and water quality using geographically weighted regression I: model design and evaluation. Science of the Total Environment, 2008, 407(1): 358-378.

[24] Qian S S. Ecological threshold and environmental management: a note on statistical methods for detecting thresholds. Ecological Indicators, 2014, 38: 192-197.

[25] 翟玥, 尚晓, 沈剑, 王欣泽. SWAT模型在洱海流域面源污染评价中的应用. 环境科学研究, 2012, 25(6): 666-671.

[26] 庞燕, 项颂, 储昭升, 薛力强, 叶碧碧. 洱海流域农业用地与入湖河流水质的关系研究. 环境科学, 2015, 36(11): 4005-4012.

[27] 翟羽佳, 刘春学. 苍山十八溪流域水资源生态系统服务功能价值评估. 中国农村水利水电, 2015, (5): 77-80.

[28] 国家环境保护总局, 废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法(第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 210-281.

[29] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 21010-2007 土地利用现状分类. 北京: 中国标准出版社, 2007.

[30] 韩路, 王海珍, 于军. 河岸带生态学研究进展与展望. 生态环境学报, 2013, 22(5): 879-886.

[31] 张红兵, 贾来喜, 李潞. SPSS宝典. 北京: 电子工业出版社, 2007: 242-244, 277-282.

[32] Fernández D, Barquín J, Álvarez-Cabria M, Peñas F J. Land-use coverage as an indicator of riparian quality. Ecological Indicators, 2014, 41: 165-174.

[33] 曾立雄, 黄志霖, 肖文发, 田耀武. 三峡库区不同土地利用类型氮磷流失特征及其对环境因子的响应. 环境科学, 2012, 33(10): 3390-3396.

[34] 李潇然, 李阳兵, 邵景安. 非点源污染输出对土地利用和社会经济变化响应的案例研究. 生态学报, 2016, 36(19): 6050-6061.

[35] 孙芹芹, 黄金良, 洪华生, 冯媛. 九龙江流域城镇建设用地与河流水质关系研究. 环境科学, 2011, 32(10): 2849-2854.